

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Etude du fonctionnement d'un groupe alternateur-transformateur  
**Autor:** Foretay, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060806>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

REDAKTION:  
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des  
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:  
Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 5 17 42  
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXX. Jahrgang

N° 4

Mittwoch, 15. Februar 1939

## Aequivalenzpreis oder Paritätspreis?

Vom Generalsekretariat des SEV und VSE, Zürich.

621.311.003

Unter diesem Titel veröffentlichte *W. Werdenberg*, Winterthur, im Bull. SEV 1938, Nr. 17, S. 453, einen Vorschlag, in welchem die Begriffe Aequivalenz- und Paritäts-Preis genau definiert werden.

Die verschiedenen Zuschriften, die wir erhielten, unterstreichen alle das Bedürfnis, in der Verwendung der beiden Begriffe Ordnung zu schaffen. Denn man kann fast sicher sein, dass, wenn zwei, die sich zum voraus nicht verständigt haben, miteinander über den Paritätspreis oder den Aequivalenzpreis elektrischer Energie sprechen, sie etwas verschiedenes darunter verstehen; auch während der im letzten Jahr geführten Diskussion über die Wärmepumpe redeten verschiedene Herren aneinander vorbei, weil diese Begriffe nicht vergleichbar verwendet wurden.

Ueber die Sache selbst gehen die Meinungen auseinander. Wir luden daher einige der Herren, die sich zur Frage geäußert hatten, zu einer Aussprache ein, aus der folgendes festgehalten sei.

Herr *E. Dufour* (Motor-Columbus) wies besonders darauf hin, dass der feine Unterschied, der zwischen den Worten «Aequivalenzpreis» und «Paritätspreis» liegen mag, in der Praxis kaum beachtet wird und jedenfalls nicht genügt, um die beiden Worte für verschiedene Begriffe zu verwenden. Die Bezeichnungen müssen so gewählt werden, dass aus ihnen der Begriffsinhalt möglichst klar hervorgeht. Es zeige sich auch das Bedürfnis nach einer weiteren Unterteilung des ganzen Begriffsinhaltes, den Herr Werdenberg in die Worte Aequivalenzpreis, Paritätspreis und Lieferpreis legte.

Auf Grund der Aussprache werden nun im Sinne der Anregungen des Herrn Dufour folgende Definitionen vorgeschlagen:

Das Wort	berücksichtigt
Brennstoffparitätspreis	Qualität und Kosten des Brennstoffes und Wirkungsgrade
Betriebsparitätspreis	die Grössen, die im <i>Brennstoffparitätspreis</i> berücksichtigt sind, <i>plus</i> Kosten an Nebenauslagen: Bedienung, Unterhalt, Reparaturen, Lagerhaltung, Veränderung des Ausschusses und der Nebenprodukte usw.
Gesamtparitätspreis	die Grössen, die im <i>Betriebsparitätspreis</i> berücksichtigt sind, <i>plus</i> Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals.
Lieferpreis	Preis, zu dem im konkreten Fall die elektrische Energie tatsächlich geliefert wird.

Wir stellen diese Vorschläge hiermit nochmals zur Diskussion und bitten, Einwände bis in 4 Wochen dem Generalsekretariat des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, bekannt zu geben. Gehen keine Einwände ein, so wird angenommen, dass diese Definitionen der Praxis genügen und für gut gehalten werden, und gestützt darauf würden wir diese Vorschläge der Tarifkommission des VSE zur allgemeinen Einführung empfehlen.

## Etude du fonctionnement d'un groupe alternateur-transformateur.

Par *E. Foretay*, Cossonay-Gare.

621.313.322 : 621.314.21

*Cette étude se rapporte à un alternateur monophasé qui alimente un transformateur à haute tension pour essai de câbles. Les conditions imposées au secondaire sont donc  $\cos \varphi = 0$  avance. L'étude graphique de ces conditions de fonctionnement est complétée par des essais qui en confirment les résultats. Un nomogramme à points alignés résume le problème.*

*Es wird das Funktionieren eines Einphasengenerators behandelt, der einen Hochspannungstransformator für Kabelprüfung speist. Das Besondere einer solchen Gruppe liegt darin, dass die sekundäre Belastung einen voreilenden  $\cos \varphi = 0$  aufweist. Die graphische Untersuchung dieser Betriebsverhältnisse wird durch Versuche ergänzt, die die auf graphischem Weg erhaltenen Resultate bestätigen. Ein einfaches Nomogramm, das die Verhältnisse übersichtlich darstellt, ist beigegeben.*

### 1° Données.

L'étude qui va suivre se rapporte au fonctionnement d'un groupe constitué par un alternateur monophasé qui alimente un transformateur d'essai

à haute tension pour les essais de câbles, installé au laboratoire des Câbleries de Cossonay<sup>1)</sup>. Les

<sup>1)</sup> Bulletin ASE 1936, No. 3, p. 74.

caractéristiques sont les suivantes:

Alternateur monophasé: 380 kVA, 1000 V, 1000 tours/min,  $\cos \varphi = 0,1$  avance, 50 pér./s.

Avec excitatrice: 7,3 kW, 50 V, 145 A.

Transformateur monophasé: 360 kVA, tension primaire 1000 V, tension secondaire 90, 180 ou 360 kV.

Alternateur et transformateur peuvent fournir une puissance de 500 kVA pendant une heure.

## 2° Alternateur.

On peut, par des méthodes graphiques connues, déterminer les caractéristiques de fonctionnement dans n'importe quelles conditions de charge, sur

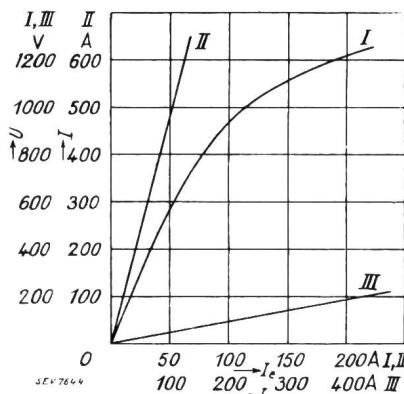


Fig. 1.  
Caractéristiques de l'alternateur.  
I Caractéristique à vide.  
II Caractéristique en court-circuit.  
III Tension d'impédance.

la base des essais comprenant la détermination des trois fonctions:

- a) caractéristique à vide, soit tension aux bornes à vide en fonction du courant d'excitation.
- b) caractéristique en court-circuit, soit courant de court-circuit en fonction du courant d'excitation.
- c) tension d'impédance, soit tension aux bornes du stator (rotor enlevé) en fonction du courant qui le parcourt.

Ces trois caractéristiques sont données par la fig. 1.

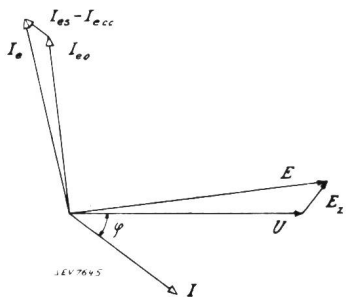


Fig. 2.  
Diagramme de Potier pour  $\cos \varphi = 0,8$  retard.

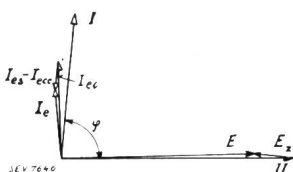


Fig. 3.  
Diagramme de Potier pour  $\cos \varphi = 0,1$  avance.

Ces calculs se font par l'intermédiaire de diagrammes vectoriels tels que par exemple celui de Potier<sup>2)</sup>. Nous donnons ci-dessous deux exemples de ce diagramme (fig. 2 et 3), soit pour un alternateur fonctionnant sous un  $\cos \varphi = 0,8$  retard, qui est le cas usuel des réseaux de distribution, soit pour le fonctionnement à  $\cos \varphi = 0,1$  avance correspondant à l'alimentation d'un transformateur

<sup>2)</sup> Mauduit, Machines Electriques 4<sup>e</sup> Ed. 1931. Tome I, p. 505.

d'essai de câbles. En comparant ces deux diagrammes, on remarque facilement une particularité du fonctionnement à  $\cos \varphi = 0,1$  avance: le vecteur  $E$ , force électromotrice, est plus petit que la tension aux bornes  $U$ : le courant d'excitation en charge  $I_e$  est plus petit que le courant d'excitation à vide  $I_{eo}$  pour la même tension aux bornes. On a donc une chute de tension négative, contrairement à ce qui se produit pour la marche à  $\cos \varphi = 0,8$  retard. Il en résultera que les caractéristiques de réglage auront une allure descendante, c'est-à-dire que le courant d'excitation diminue quand le courant débité augmente. Pour la même raison, les caractéristiques externes auront une allure ascendante, la tension aux bornes croissant à mesure que le courant débité augmente.

Ce phénomène de chute de tension négative peut s'expliquer physiquement en considérant la position du flux de réaction d'induit par rapport à la roue polaire. Dans le cas de  $\cos \varphi = 0,8$  retard, le flux de réaction d'induit est en opposition avec le flux de la roue polaire. La résultante de ces deux flux est donc plus petite que le flux à vide. Dans le cas de  $\cos \varphi = 0,1$  avance, le flux de réaction d'induit est décalé en avant et se trouve donc presque en phase avec le flux de même signe de la roue polaire auquel il s'ajoute.

## Caractéristiques de réglage.

Dans un laboratoire de câblerie, les tensions d'essai varient dans des limites très étendues, et il faut donc étudier le fonctionnement des sources de courant pour plusieurs tensions très différentes. C'est pourquoi on a établi les caractéristiques de réglage de l'alternateur pour quatre tensions aux bornes, soit 250, 500, 750 et 1000 V. Le courant maximum pour la puissance unihoraire de 500 kVA étant 500 A, on a calculé pour chaque caractéristique 10 points de 50 à 500 A. Ces caractéristiques qui

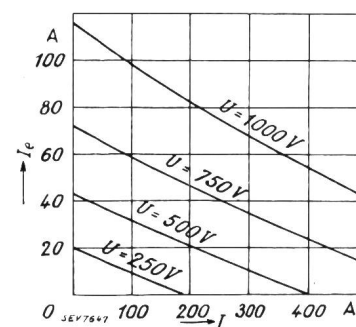


Fig. 4.  
Caractéristiques de réglage.  
 $I_e = f(I)$ ;  $U = \text{const.}$ ;  $\cos \varphi = 0,1$  avance.

expriment la variation du courant d'excitation en fonction du courant débité, pour une tension aux bornes constante et un facteur de puissance constant  $\cos \varphi = 0,1$  avance, sont représentées par la fig. 4. A titre d'indication, nous donnons les valeurs numériques correspondant à la tension aux bornes  $U = 1000$  V, sous un courant  $I = 500$  A (voir fig. 3).

Tension d'impédance . . . . .	$E_z = 230$ V
Force électromotrice . . . . .	$E = 772$ V
Courant d'excitation à vide . . . . .	$I_{eo} = 74,8$ A
Courant d'excitation en court-circuit . . . . .	$I_{ec} = 51,8$ A

Courant d'excitation pour la tension  
d'impédance . . . . .  $I_{es} = 18,0 \text{ A}$   
Courant d'excitation en charge . . .  $I_e = 41,6 \text{ A}$

### Caractéristiques externes.

Elles expriment la variation de la tension aux bornes en fonction du courant débité, pour un courant d'excitation constant et un facteur de puissance constant  $\cos \varphi = 0,1$  avance. Comme les caractéristiques de réglage, elles ont été établies pour

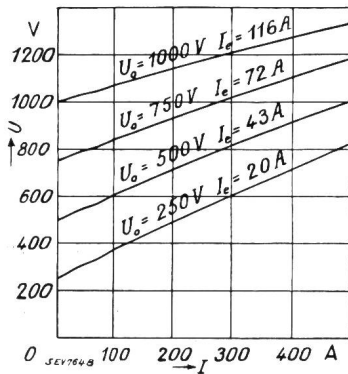


Fig. 5.  
Caractéristiques  
externes.  
 $U = f(I); I_e = \text{const.};$   
 $\cos \varphi = 0,1$  avance.

quatre tensions aux bornes à vide, soit 250, 500, 750 et 1000 V, dix points ayant été calculés pour chaque courbe, de 50 à 500 A (fig. 5). Egalement une valeur numérique, pour le courant d'excitation  $I_e = 20 \text{ A}$  correspondant à la tension aux bornes à vide  $U_0 = 250 \text{ V}$ , dans le cas d'un courant débité  $I = 500 \text{ A}$ :

Tension d'impédance . . . . .  $E_z = 230 \text{ V}$   
Force électromotrice . . . . .  $E = 592 \text{ V}$   
Tension aux bornes . . . . .  $U = 819 \text{ V}$   
Courant d'excitation à vide . . . .  $I_{e0} = 52,8 \text{ A}$   
Courant d'excitation en court-circuit  $I_{ecc} = 51,8 \text{ A}$   
Courant d'excitation pour la tension  
d'impédance . . . . .  $I_{es} = 18,0 \text{ A}$

### 3<sup>e</sup> Transformateur.

Un transformateur pour essais de câbles présente certaines particularités qui le distinguent d'un transformateur industriel.

D'une part, le charge secondaire est une capacité pure. En effet, un câble constitue un condensateur presque parfait dont le facteur de pertes (tg de l'angle entre courant de charge effectif et courant de charge d'un condensateur sans pertes) est de l'ordre de quelques millièmes jusqu'à 1 %. On aura donc toujours  $\cos \varphi = 0$  avance. De plus, alors que dans les transformateurs industriels, le rapport de transformation à vide est égal au rapport des nombres de spires des deux enroulements:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = m,$$

cette relation n'est plus vérifiée pour un transformateur d'essai à tension secondaire très élevée. Mesuré à tension réduite le rapport des tensions est égal au rapport des nombres de spires, mais à la tension de service il n'en est plus de même, et l'écart est d'autant plus grand que le rapport de transformation est plus élevé. Dans le transformateur étu-

dié, qui a trois rapports de transformation, on a les chiffres suivants (fig. 6):

Rapport des nombre de spires	Tension primaire en V	Tension secondaire en V	Rapport des tensions	Augmentation % $\frac{m' - m}{m} \cdot 100$
$m = N_2 : N_1$	$U_1$	$U$	$m' = U_2 : U_1$	
90	1000	90 000	90	0
180	906	180 000	199	10,5
360	855	360 000	421	17

Cette mesure des rapports de transformation a été effectuée en mesurant la tension primaire par un voltmètre et la tension secondaire par un spintermètre.

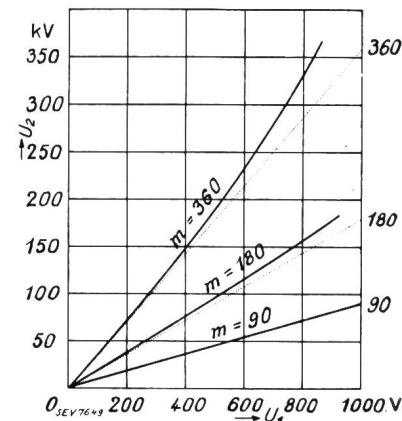


Fig. 6.  
Tensions à vide  
du transformateur.  
 $U_2 = f(U_1); I_2 = 0.$

On a également fait les essais suivants, pour chacun des trois couplages du transformateur:

a) essai à vide, soit mesure du courant et de la puissance au primaire en fonction de la tension, à circuit secondaire ouvert.

b) essai en court-circuit, soit mesure de la tension et de la puissance au primaire en fonction du courant, le secondaire étant en court-circuit.

c) mesure de la résistance ohmique des enroulements.

Sur la base de ces essais il est possible d'établir le diagramme de fonctionnement du transformateur. Nous ferons cette étude ci-après, pour le couplage à 90 kV seulement.

Dans notre cas, le facteur de puissance au secondaire est pratiquement  $\cos \varphi_2 = 0$  avance. On peut simplifier le diagramme en faisant tourner les vecteurs relatifs au primaire de  $180^\circ$  en arrière de sorte que les f. é. m.  $E_1$  et  $E_2$  coïncident en direction. Ils coïncideront aussi en grandeur si le diagramme du primaire est tracé à une échelle  $m$  fois plus grande que celle du secondaire. On peut admettre aussi que le courant primaire à vide est négligeable par rapport au courant en charge. Pour le couplage 90 kV par exemple,  $I_{1,0} = 9,8 \text{ A}$ , soit 2,7 % du courant primaire de pleine charge  $I_1 = 360 \text{ A}$ . On obtient ainsi la fig. 7. La chute de tension totale représentée par le vecteur  $AH$ , qui est négative, a pour valeur  $Z \cdot I_2$  où  $Z$  est l'impédance apparente du transformateur:

$$Z = \sqrt{(R_2 + R_1 m^2)^2 + (L_2 + L_1 m^2)^2 \omega^2}$$

Le facteur de puissance au primaire est donné par  $\cos \varphi_1$ , où  $\varphi_1$  est l'angle entre courant et tension

primaires. La valeur de  $Z \cdot I_2$  se déduit de l'essai en court-circuit. Quant à l'angle  $\psi$  que fait le vecteur  $AH$ , chute de tension totale, avec la direction du courant secondaire  $I_2$ , il est égal à l'angle entre courant et tension primaires lors du fonctionnement en court-circuit. La caractéristique de court-circuit étant une droite, cet angle est constant et vaut, pour

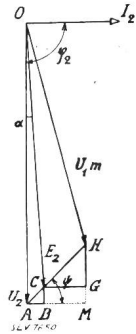


Fig. 7.  
Diagramme simplifié  
du transformateur.

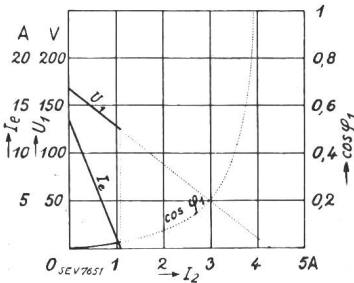


Fig. 8.  
Alternateur et transformateur  
 $U_2 = 15\,000\text{ V}$ ;  $\cos \varphi_2 = 0$  avance.

le transformateur considéré, environ  $85^\circ$ . Pour  $\cos \varphi_2 = 0$  avance, la tension primaire est donnée par:

$$U_1 = \frac{U_2}{m} - a I_2 \quad a = \text{const.} = \frac{U_{1cc}}{I_2} \quad (1)$$

Elle décroît donc linéairement à mesure que le courant secondaire augmente. Cette tension s'annule pour un courant secondaire égal à:

$$I_2 = \frac{U_2}{a \cdot m} \quad \text{où } m = \frac{N_2}{N_1} = \text{rapport des nombres de spires des deux enroulements.}$$

Le facteur de puissance au primaire est donné par:

$$\cos \varphi_1 = \frac{R I_2}{U_2 - m a I_2}, \quad (2)$$

où  $R = R_2 + R_1 m^2 = \text{résistance équivalente du transformateur.}$

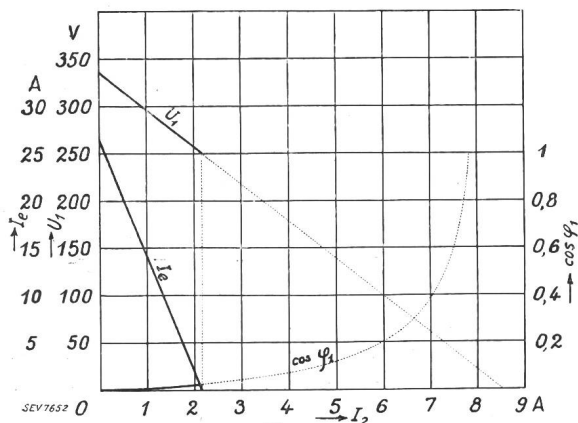


Fig. 9.  
Alternateur et transformateur  
 $U_2 = 30\,000\text{ V}$ ;  $\cos \varphi_2 = 0$  avance.

Les deux limites possibles de  $\cos \varphi_1$  sont 0 et 1. Le courant secondaire ne pourra pas dépasser la valeur pour laquelle  $\cos \varphi_1 = 1$  c'est-à-dire:

$$I_{2\max} = \frac{U_2}{R + m a}$$

Sur la base de ces équations on a tracé, pour le transformateur envisagé, la droite  $U_1 = f(I_2)$  et la courbe  $\cos \varphi_1 = f(I_2)$  pour les deux tensions  $U_2$  de 15 000 et 30 000 V (fig. 8 et 9).

Les valeurs numériques sont:

$U_2$ V	$I_2$ A	$U_1$ V	$\cos \varphi_1$
15 000	0	166,8	0
15 000	3,92	—	1
15 000	4,28	0	—
30 000	0	333,5	0
30 000	7,84	—	1
30 000	8,55	0	—

On voit sur les graphiques fig. 8 et 9 que  $\cos \varphi_1$  reste très faible sauf pour les grandes valeurs de  $I_2$ .

#### 4° Alternateur et transformateur combinés.

L'équipement du laboratoire de Cossonay comprend un transformateur d'essai donnant des tensions jusqu'à 16 kV et le transformateur de 360 kVA faisant l'objet de cette étude, qui doit donc pouvoir être utilisé dès 15 kV. Les câbles essayés à cette tension ont souvent une forte capacité, et il faut étudier le complexe alternateur-transformateur pour de faibles tensions.

Il s'agit maintenant d'examiner le fonctionnement de l'alternateur dans les conditions que lui impose le transformateur. Comme la valeur de  $\cos \varphi_1$  est toujours très voisine de 0, nous étudierons le fonctionnement de l'alternateur à  $\cos \varphi = 0$  avance. Dans ce cas, le diagramme de fonctionnement se simplifie. L'angle  $\varphi$  étant  $90^\circ$ , le vecteur  $E_z$  (fig. 3) sera en phase avec  $U$  et avec  $E$ .

La relation vectorielle:

$$U = E + E_z$$

devient une relation algébrique:

$$U = E + E_z$$

De même pour les courants d'excitation, les vecteurs  $I_{eo}$ ,  $I_{es}$ ,  $I_{ecc}$  et  $I_e$  ont tous même phase, en quadrature avec les tensions et f. é. m. On a donc, aussi pour les courants d'excitation, une relation algébrique:

$$I_e = I_{eo} - I_{ecc} + I_{es}$$

La caractéristique à vide de l'alternateur est pratiquement linéaire pour les tensions inférieures à 300 V (fig. 1). Les trois caractéristiques servant à établir le diagramme de fonctionnement:

- caractéristique à vide,
- caractéristique en court-circuit,
- tension d'impédance,

sont des fonctions linéaires.

Les caractéristiques de réglage et les caractéristiques externes ainsi calculées seront aussi des droites. En tenant compte de ce que les trois caractéristiques  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont linéaires, on peut écrire l'équation du courant d'excitation sous la forme:

$$I_e = p U_1 - r I_1 \quad (3)$$

où  $p$  et  $r$  sont des constantes. On doit avoir  $I_e > 0$  donc

$$U_1 > \frac{r}{p} I_1$$

Le courant maximum que l'alternateur pourra théoriquement débiter pour  $I_e = 0$  sera :

$$I_{1\max} = \frac{p}{r} U_1 \quad (4)$$

Pour l'alternateur envisagé :

$$p = \frac{I_{e0}}{E} = \frac{20}{250} = 0,080$$

$$r = \frac{I_{ecc}}{I_1} = \frac{50}{485} = 0,103; \quad \frac{p}{r} = 0,7767.$$

On aura donc :

$$I_{1\max} = 0,7767 U_1$$

Ces équations permettent d'établir les caractéristiques de réglage du diagramme fig. 10.

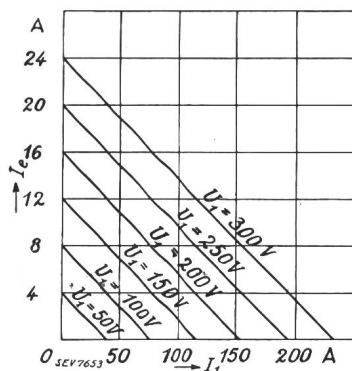


Fig. 10.

Caractéristiques de réglage.

$I_e = f(I_1); U_1 = \text{const.}; \cos \varphi_1 = 0,1 \text{ avance.}$

Nous pouvons maintenant étudier le fonctionnement simultané de l'alternateur et du transformateur.

Prenons un cas particulier. Un câble à essayer à 15 000 V absorbe sous cette tension un courant de 1,7 A sous un  $\cos \varphi_2 = 0$  avance. La droite  $U_1 = f(I_2)$  du diagramme de la fig. 8 montre que la tension primaire correspondante est  $U_1 = 100$  V et la courbe  $\cos \varphi_1$  donne un facteur de puissance de 0,055. Le courant primaire sera :

$$I_1 = m I_2 = 90 \cdot 1,7 = 153 \text{ A}$$

L'alternateur doit donc débiter 153 A sous 100 V avec  $\cos \varphi = 0,055$  avance. Si nous prenons la caractéristique de réglage de l'alternateur (fig. 10) on voit que pour 100 V le courant d'excitation s'annule pour un courant débité de 78 A qui est donc le maximum que l'alternateur puisse fournir à cette tension. L'essai du câble envisagé n'est donc pas possible. Nous allons calculer quel est le courant maximum que peut fournir le transformateur. En combinant les équations 1 et 4 on peut écrire :

$$I_{2\max} = \frac{U_2}{m} \cdot \frac{p}{r} \cdot \frac{1}{m + a \frac{p}{r}}.$$

Pour le transformateur considéré, on aura comme valeur numérique

$$I_{2\max} = 0,000\,0717 U_2.$$

Sur les graphiques fig. 8 et 9, on a encore tracé le courant d'excitation  $I_e$ .

Il faut remarquer que le courant maximum déterminé ci-dessus est une limite théorique, puisqu'il correspond à un courant d'excitation nul pour lequel le fonctionnement de l'alternateur est instable. On peut facilement établir le graphique de la fig. 11 donnant le courant maximum au secondaire  $I_2$  ainsi

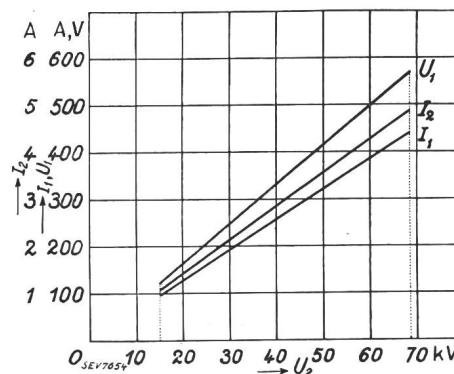


Fig. 11.

Courant maximum au secondaire du transformateur  $I_2 = f(U_2)$  pour  $U_2$  compris entre 15 et 68,5 kV  $I_e = 0$   $\cos \varphi_2 = 0$  avance.

que le courant primaire  $I_1$  et la tension primaire  $U_1$  en fonction de la tension secondaire  $U_2$ . Ce graphique montre que le transformateur ne peut pas débiter son courant de pleine charge de 4 A pour des tensions inférieures à 56 000 V.

Les résultats des calculs qui précèdent ont été confirmés par des essais pratiques en reliant au secondaire du transformateur, sous la tension d'essai de 15 000 V, plusieurs câbles de diverses capacités. Dans le cas où le courant  $I_2$  dépassait la limite prévue, on a pu constater sur l'ampèremètre d'excitation un courant négatif. De plus, il se produit alors un effet d'auto-excitation tel que, même en mettant le rhéostat au minimum, la tension dépasse 15 000 V.

Pour remédier à cet inconvénient, l'enroulement statorique a été divisé en quatre sections aboutissant à un inverseur tétrapolaire qui permet de réaliser les deux couplages suivants :

- 1° Couplage série-parallèle tension max. 1000 V
- 2° Deux sections en parallèle tension max. 500 V

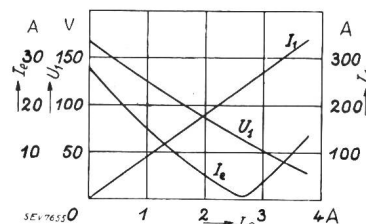


Fig. 12.

Essai du groupe alternateur-transformateur  $U_2 = 15 \text{ kV}; \cos \varphi_2 = 0$  avance.

Une série d'essais a été effectuée dans ces nouvelles conditions, avec diverses capacités de câbles, pour les tensions de 10, 15, 20, 25, 30, 35 et 40 kV, et pour le couplage à 500 V (2 sections en parallèle).



Au lieu de s'annuler, le courant d'excitation diminue jusqu'à une certaine valeur puis augmente ensuite sans jamais s'annuler, et le fonctionnement reste toujours stable. Les fig. 12 et 13 donnent les caractéristiques de fonctionnement pour  $U_2 = 15\,000\text{ V}$  et  $U_2 = 30\,000\text{ V}$ .

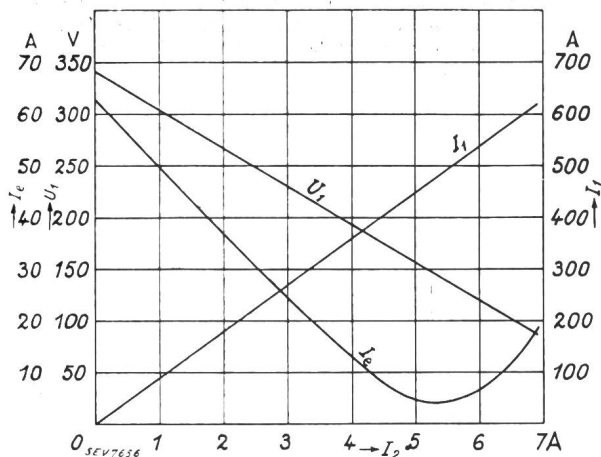


Fig. 13.

Essai du groupe alternateur-transformateur  
 $U_2 = 30\text{ kV}$ ;  $\cos \varphi_2 = 0$  avancé.

Ces essais conduisent à la conclusion suivante:

Avec le couplage à 500 V de l'alternateur il est possible d'obtenir la pleine puissance du transformateur pour toutes les tensions inférieures à 45 000 V (le rapport de transformation étant 90 on aura au maximum  $90 \cdot 500 = 45\,000\text{ V}$ ).

Le minimum du courant d'excitation correspond à une capacité du câble à essayer d'environ  $0,56\text{ }\mu\text{F}$  quelle que soit la tension.

#### Choix du couplage.

Il est intéressant de pouvoir choisir à l'avance le couplage de l'alternateur: 500 ou 1000 V pour chaque essai, selon la capacité du câble et la tension d'essai à obtenir.

Les limites de fonctionnement des deux couplages sont faciles à définir:

Couplage 500 V: Condition  $U_1 \approx 500\text{ V}$

Couplage 1000 V: Condition  $I_e \approx 0$ .

Sur la base des équations déjà établies, on peut poser pour la première condition:

$$U_2 \approx 3510 I_2 + 45\,000 \quad (\text{Couplage } 500\text{ V})$$

et pour la deuxième condition:

$$U_2 = \frac{12,39}{0,000888} I_2 \quad (\text{Couplage } 1000\text{ V}).$$

En traçant les deux droites correspondant au cas de l'égalité pour les deux fonctions ci-dessus on obtient le diagramme de la fig. 14 où la droite  $AB$  correspond à la première condition et la droite  $OC$  à la deuxième condition. On délimite ainsi quatre

surfaces relatives chacune à un mode de fonctionnement bien déterminé. Pour un essai donné, le point correspondant est défini par son abscisse qui est le courant de charge (à calculer d'après la capacité du câble) et par son ordonnée qui est la tension d'essai.

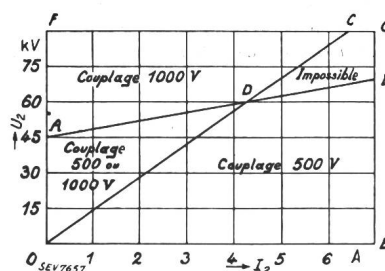


Fig. 14.

Limites de fonctionnement des deux couplages de l'alternateur.

Selon la zone dans laquelle se trouvera le point on aura:

- |                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| 1° Quadrilatère $ODBE$ | Couplage 500 V            |
| 2° Triangle $OAD$      | Couplage 500 ou 1000 V    |
| 3° Quadrilatère $AFCD$ | Couplage 1000 V           |
| 4° Quadrilatère $DCGB$ | Fonctionnement impossible |

Pour certaines tensions supérieures à 60 kV, le courant secondaire ne pourra pas dépasser 4,3 A.

Nous avons également établi, pour le choix du couplage, un nomogramme à points alignés (fig. 15) qui indique, en fonction de la tension et du courant secondaires, non seulement le choix du couplage, mais encore la tension primaire du transformateur,

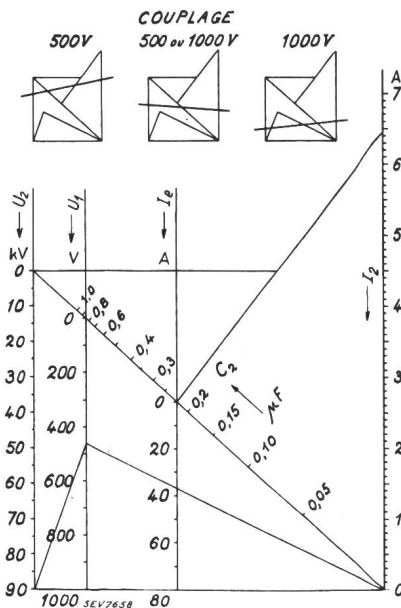


Fig. 15.

Nomogramme du groupe alternateur-transformateur.

le courant d'excitation de l'alternateur pour le couplage 500 V et la capacité du câble en essai. Il suffit de joindre par une droite le point de l'échelle  $U_2$  avec celui de l'échelle  $I_2$  ou de l'échelle des capacités correspondant au cas envisagé pour obtenir par intersection avec les autres échelles les valeurs correspondantes. Selon la position de cette droite, on devra choisir l'un ou l'autre couplage, comme l'indiquent les petits diagrammes.